

4 Metodología temporal propuesta para la detección del inicio de la estricción

Es bien sabido que el concepto de estricción se relaciona con una reducción localizada, claramente perceptible e inestable del espesor de la chapa. El perfil de deformación a lo largo de una sección perpendicular a la fractura se puede representar en distintos instantes de tiempo (Fig. 4-1 izqda). Cuando se emplea un punzón con curvatura, se puede apreciar que el perfil de deformación en las etapas tempranas del proceso no es horizontal sino ligeramente con forma de cono, debido precisamente al gradiente de deformación impuesto por éste a lo largo de la chapa. Este perfil de deformación crece progresivamente con el tiempo hacia niveles de deformación mayores. Después de cierto tiempo, la deformación empieza a concentrarse dentro de una región localizada, donde el perfil de deformación crece muy rápidamente, mientras que las zonas adyacentes prácticamente dejan de deformarse (Fig. 4-1 izqda). Este proceso de localización de la deformación representa el desarrollo de estricción.

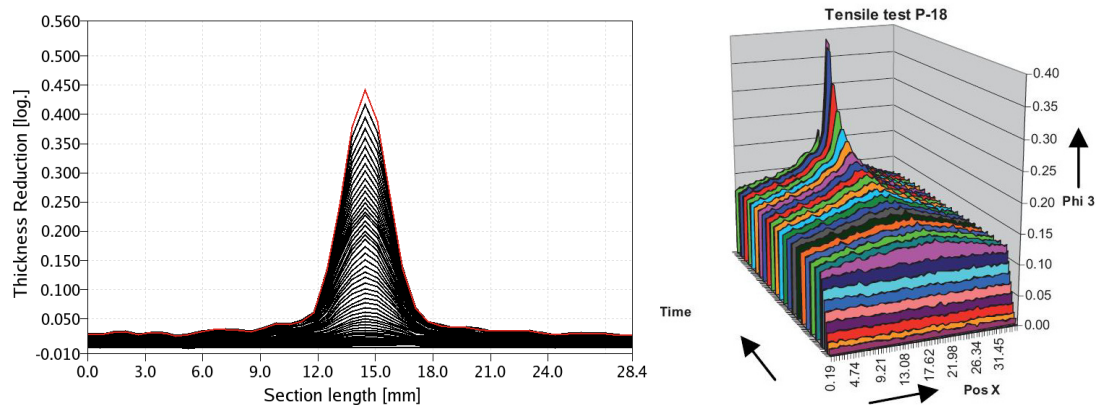


Fig. 4-1: Desarrollo del proceso de localización en ensayo con punzón hemiesférico (izqda) y en ensayo de tracción realizado por Hotz et al. (2008) (dcha).

A tenor de lo anterior, el método que se pretende desarrollar tenía como premisa el ser un método local basado en algún hecho físico observable cuando aparece la estricción y que permitiera detectar, además de en los casos con poco gradiente de deformación, el comienzo de la localización cuando la zona de deformación es pequeña y existen severos efectos de la

flexión, como ocurre cuando se trabaja con punzones cilíndricos (stretch-bending tests) de pequeño radio.

El nuevo método que se propone se basa en el análisis temporal de la distribución de deformación principal máxima ε_1 y su primera derivada $\dot{\varepsilon}_1$ (a partir de ahora llamada velocidad de deformación ó strain rate) respecto al tiempo, en una serie de puntos alineados en una sección perpendicular a la zona de fractura. La metodología se estructura en 5 pasos:

- ✚ Obtención del ancho de la zona de estricción. El objetivo consiste en identificar los dos últimos puntos, uno a cada lado de la grieta, que dejan de deformarse y alcanzan un cero en la velocidad de deformación justo antes de la aparición de la fractura (Fig. 4-2, punto A). La región entre dichos puntos define el área donde se ha desarrollado la inestabilidad plástica. Una vez comience ésta, la deformación de los puntos de dicha región aumenta más y más hasta la fractura. Por otro lado, la velocidad de deformación de los puntos fuera de esa zona se reduce gradualmente (frenada), llegando a mantener un nivel de deformación constante o incluso experimentando cierta descarga elástica antes de la fractura de la chapa.

Típicamente, en la zona de estricción aparecen dos gradientes superpuestos, por un lado el impuesto por la curvatura del punzón a lo largo de la chapa y por otro el inherente al desarrollo de la inestabilidad. Por ello, dentro de la zona de estricción, habrá puntos que aumenten su velocidad hasta la rotura (Fig. 4-2, Punto B), otros que empiecen a reducirla pero no consigan llegar a cero en la fractura y por último aquellos que alcanzan velocidad nula justo un instante antes de la fractura, los cuales definen el ancho de estricción.

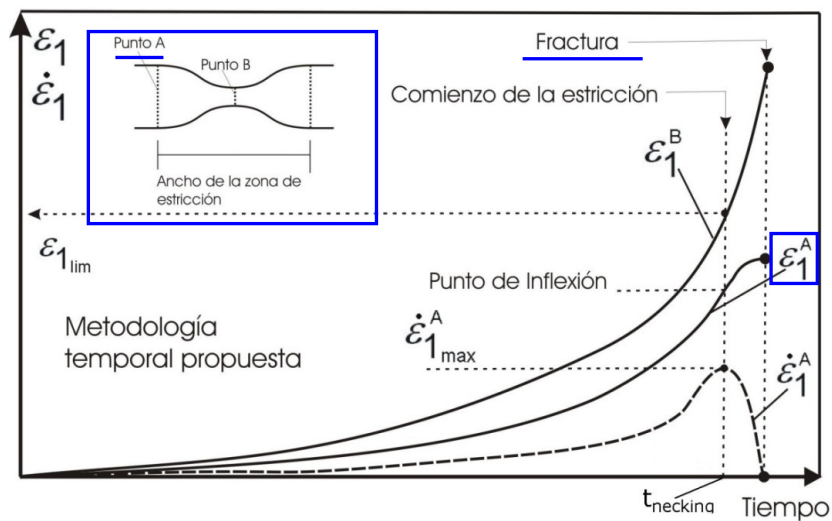


Fig. 4-2: Obtención del ancho de la zona de estricción

- Detección del inicio de la estricción. El objetivo fundamental del método consiste en detectar cuando los puntos de la zona de estricción comienzan a deformarse de forma inestable. De acuerdo a la evidencia experimental, se establece que el proceso de estricción se inicia cuando la velocidad de deformación en la frontera que define el área de la inestabilidad (Fig. 4-3, Punto A) alcanza un máximo (ver evolución de $\dot{\epsilon}_1^A$ en Fig. 4-3). Dicho máximo revela que la deformación ha empezado a localizarse en el interior de la zona de estricción (puntos entre A-B en Fig. 4-3). Por tanto, la reducción progresiva en la velocidad de deformación en dichos puntos frontera es consecuencia de que los puntos interiores a la zona de estricción han comenzado a deformarse inestablemente por el desarrollo de la estricción. Este suceso define claramente el instante de tiempo en que comienza la inestabilidad plástica ($t_{necking}$).

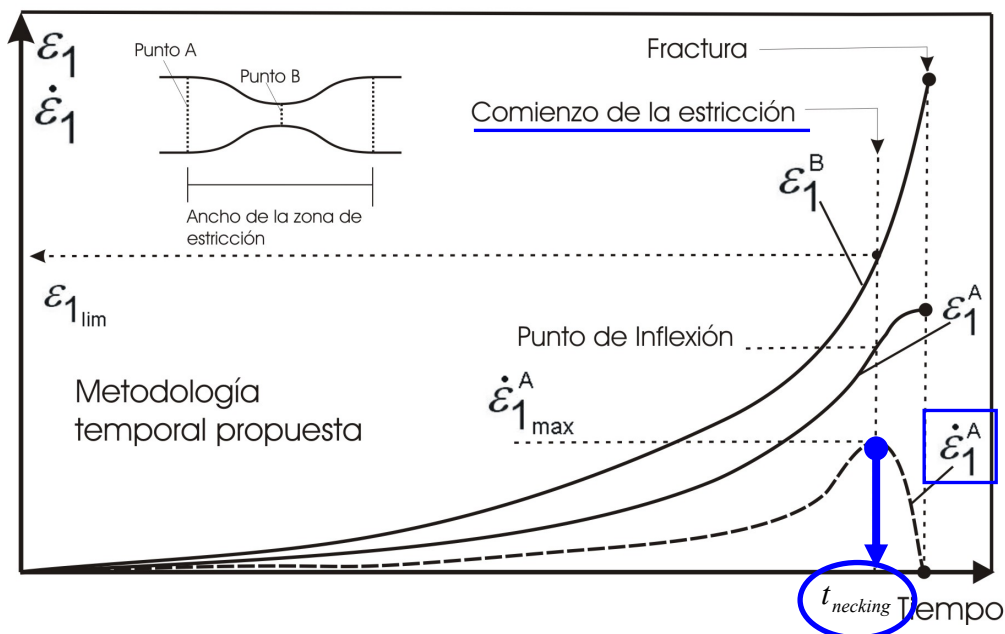


Fig. 4-3: Detección del instante de comienzo de la estricción

- Identificación del punto de fractura. El punto de fractura se corresponde con el punto más solicitado dentro de la zona de estricción (Fig. 4-3, punto B). Éste es claramente identificable localizando la curva de deformación que está por encima del resto durante el proceso (ver evolución de ϵ_1^B in Fig. 4-3).
- Determinación de la deformación principal máxima límite ($\epsilon_{1,lim}$). Esta se define como el nivel de deformación ϵ_1 del punto más solicitado de la zona de estricción (punto B) en el instante de comienzo de la estricción, $t_{necking}$ (ver $\epsilon_{1,lim}$ en Fig. 4-4).

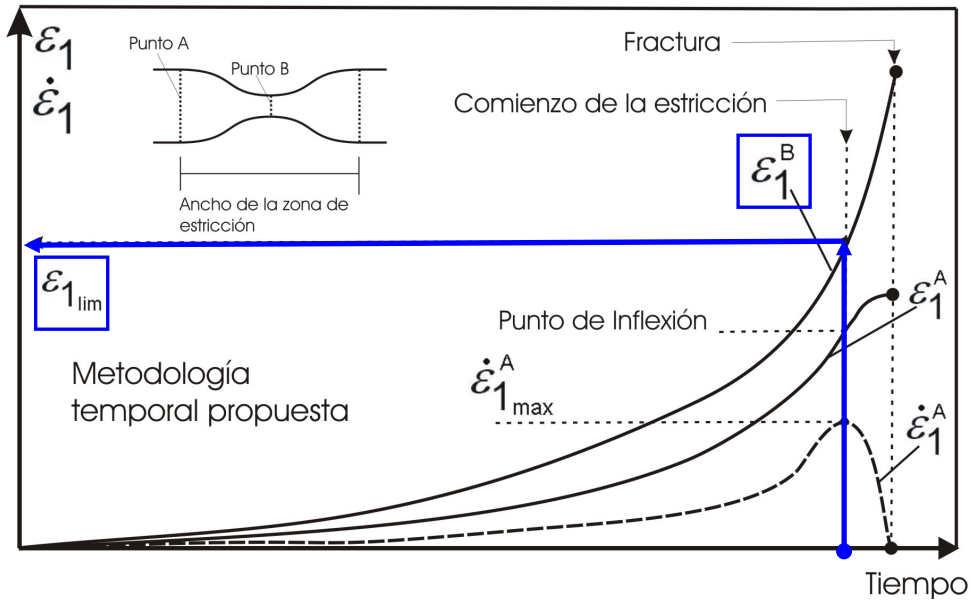


Fig. 4-4: Determinación de la deformación principal máxima límite

- ✚ Determinación de la deformación principal mínima límite ($\varepsilon_{2,\text{lim}}$). Análogamente, se obtiene como el valor de ε_2 existente en el punto B en el instante t_{necking} .

Esos valores se consideran las deformaciones límite, en la cara exterior, para el comienzo de la inestabilidad. Sin embargo, está ampliamente divulgado el hecho de que la estricción local en el espesor comienza en el instante que se alcanza una deformación límite en la cara interior (criterio de la cara cóncava), siempre que la severidad del gradiente sea la adecuada para desarrollarse un fallo controlado por estricción. Obviamente, en los casos en los que no hay gradiente de deformación en el espesor, la deformación en la cara de arriba y abajo serían prácticamente idénticas, mientras que ello no sería cierto en casos con influencia apreciable de la flexión. De hecho, experimentalmente sólo es posible acceder a la información en deformaciones de la cara exterior de la probeta y por eso parece lícito establecer metodologías experimentales que sean capaces de detectar el inicio del fallo basándose en la información de la que se puede disponer habitualmente y no en los criterios de fallo teóricos que se basan en lo que ocurre en la cara de debajo de la probeta.

Como se ha indicado anteriormente, el método propuesto emplea la distribución de ε_1 como variable de análisis, al ser ésta directamente medible durante los ensayos. Sin embargo, el proceso de estricción se relaciona estrechamente con una reducción localizada del espesor de la chapa. Por tanto, desde un punto de vista físico, la deformación en el espesor ε_3 parece ser una

variable de análisis más apropiada para la detección del inicio de la estricción. Se propone adicionalmente otro método alternativo, estructurado en los mismos pasos que el anterior, pero basado en el análisis temporal de la deformación ε_3 y su primera derivada temporal (Fig. 4-5). La comparación entre ambas metodologías se presentará más adelante.

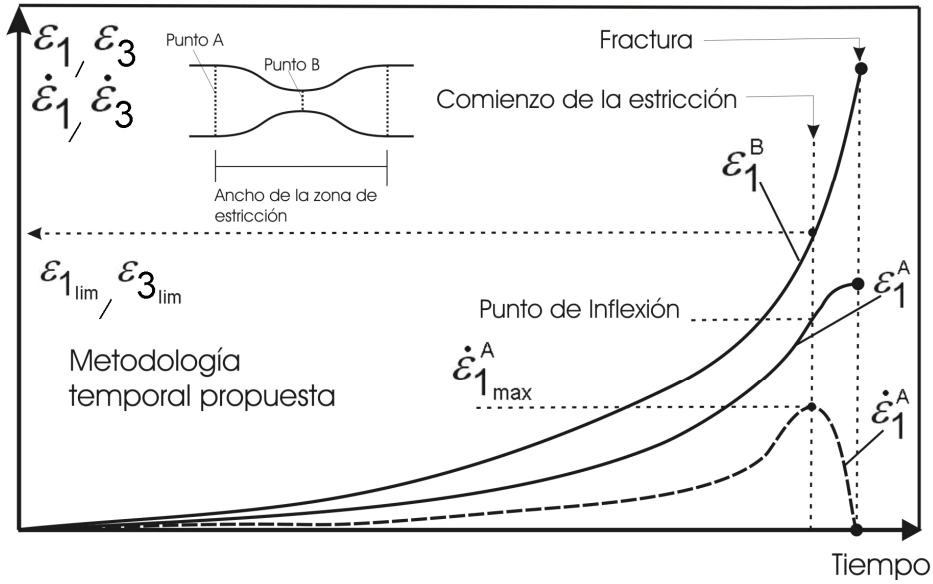


Fig. 4-5: Aplicación de la metodología temporal propuesta en sus dos variantes ε_1 ó ε_3

A fin de ejemplificar la metodología propuesta con datos experimentales, en la Fig. 4-6 se presentan las evoluciones de las deformaciones mayores en la cara exterior y su primera derivada temporal en una serie de puntos perpendiculares a la zona de fractura. Dicho proceso de diferenciación se realizó, con idea de reducir el ruido, mediante la aplicación de un suavizado parabólico cada cinco puntos consecutivos, en la misma forma que plantea la normativa ISO 12004-2, obteniendo las curvas de la Fig. 4-6 derecha.

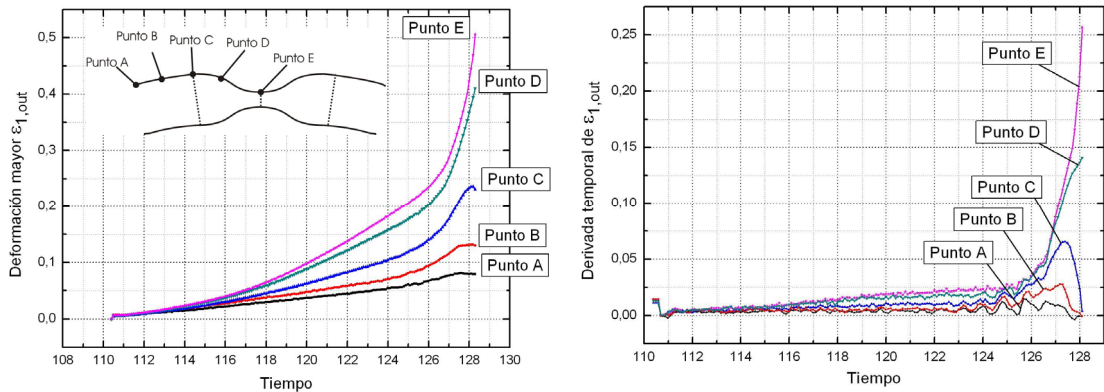


Fig. 4-6: Datos experimentales correspondientes al ensayo III con punzón cilíndrico de 10mm. Aplicación del método propuesto

